

УДК 621.791:57

**Я.Н. Чудинова, М.Н. Игнатов, А.М. Игнатова,
А.С. Смолина, Ю.В. Раков**

**Ya.N. Chudinova, M.N. Ignatov, A.M. Ignatova,
A.S. Smolina, Yu.V. Rakov**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

КРАЕВЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОТОКА И ЖИДКОСТИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

THE BOUNDARY CONDITIONS FOR THE NUMERICAL SIMULATION OF FLOW AND FLUID HUMAN RESPIRATORY SYSTEM

В настоящее время сварка используется на различных производствах. Установлено, что в процессе работы образуются мелкодисперсные сварочные аэрозоли, которые неблагоприятно влияют на здоровье человека. Для детального изучения процесса оседания необходимо создать краевые условия для численного моделирования потока и жидкости дыхательной системы человека.

Ключевые слова: сварка, сварочный аэрозоль, дыхание, бронхиальное дерево, система дыхания, сварщик, здоровье сварщика.

Currently, the welding process is used in various industries. It was found that in the process of fine welding aerosols formed that adversely affect human health. For a detailed study of the sedimentation process is necessary to create the boundary conditions for the numerical simulation of flow and fluid human respiratory system.

Keywords: welding, welding spray, breath, bronchial tree, the respiratory system, welder, welder's health.

Сварка используется во всех сферах хозяйственной деятельности человека. Следствием сварочного процесса являются вредные и опасные производственные факторы. Рабочие на производстве подвергаются воздействию паров и газов, которые могут быть опасны для их здоровья и служат причиной возникновения профессиональных заболеваний. На практике существуют случаи острого отравления из-за избыточного воздействия или серьезного кратковременного воздействия сварочного дыма и газа. В основном это приводит к различным заболеваниям дыхательных путей, пневмонии, астме и раку.

В настоящее время разрабатываются новые средства защиты дыхания сварщиков и окружающей среды, сохранения благоприятной среды рабочей зоны, а также различные методы нейтрализации сварочных аэрозолей.

Известны процессы, протекающие в органах, однако недостаточно сведений для полного понимания возникновения и протекания этих процессов.

Целью данной работы является создание краевых условий для моделирования условия потока и жидкости дыхательной системы человека с точными реальными геометрическими представлениями, отражающими физиологию дыхания, для определения влияния сварочных аэрозолей на здоровье легочной системы человека. Краевые условия позволят в дальнейшем оценить вероятность оседания мелкодисперсных частиц сварочного аэрозоля в легких человека.

Задачи:

- 1) рассмотреть физиологические особенности строения дыхательной системы человека;
- 2) изучить структуру бронхиального дерева;
- 3) проанализировать геометрические особенности элементов бронхиального дерева.

Сварочный аэрозоль (СА) – это совокупность мельчайших частиц, образовавшихся в результате конденсации паров расплавленного металла, обмазки электродов, содержимого порошковой проволоки или флюсов. Его состав зависит от состава сварочных и свариваемых материалов. Как правило, сварочный аэрозоль состоит из железа и его окислов, но в него также могут входить такие вещества и их соединения, как марганец, хром, никель, алюминий, медь, цинк, фтор, кремний, азот и др.

В данной работе исследуются только крупные воздухоносные пути человека, соответственно, будем рассматривать только бронхиальное дерево.

Бронхи (от др.-греч. βρόγχος – дыхательное горло, трахея; лат. bronchia) – ветви дыхательного горла у высших позвоночных (амниот).

Бронхиальная картина деления неодинакова среди человека, крысы и свиньи. Бронхиальное дерево человека показывает деление с дихотомическим рисунком (каждый бронх делится на две дистальных бронха), а у легких свиней и крыс следует моноподиальному шаблону (каждые вторичные бронхи возникли из каждой продольной главного бронха) (рис. 1).

У млекопитающих от каждого главного бронха отходят вторичные бронхи, которые делятся на все более мелкие ветви, образуя так называемое бронхиальное дерево. Самые мелкие ветви переходят в альвеолярные ходы, оканчивающиеся альвеолами.

В работе важное значение имеют средние размеры отдельных участков трахеобронхиального дерева, углы отхождения бронхов и ориентация устьев долевых и сегментарных бронхов. В литературе приводятся различные

данные, что, по-видимому, обусловлено различием методик измерения. Ниже приводятся результаты бронхоскопических измерений топографии трахеобронхиального дерева, произведенные Wolfart, Puff (1964) во время поднаркозных бронхоскопий у 159 человек. Длина трахеи составляет в среднем 11–11,6 см, поперечный диаметр – 1,2–1,8 см. Угол разветвления трахеи – 55° (40 – 65°). Длина правого главного бронха (расстояние от бифуркации до устья верхнедолевого бронха) – 2,3 см (1,5–3,5 см). Длина левого главного бронха – 4,3 см (3–6 см). Длина промежуточного бронха (расстояние от устья правого верхнедолевого бронха до устья среднедолевого) – 2,3 см (1,5–3,5 см). Расстояние от устья среднедолевого до устья 6-го сегментарного бронха – 0,5 см (0–1 см). Расстояние от устья верхнедолевого бронха до устья 6-го сегментарного бронха слева – 0,7 см (0–1,5 см).

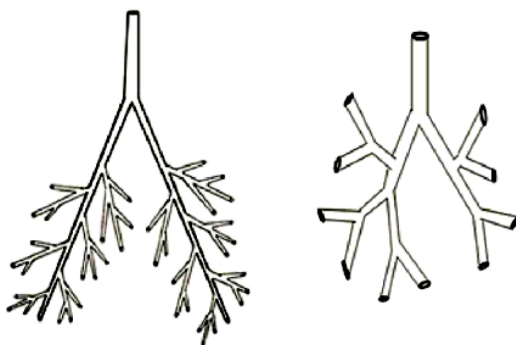


Рис. 1. Модель бронхиального дерева

Ориентация устьев долевого и сегментарного бронхов по часовой стрелке, по данным тех же исследователей, следующая: устье правого верхнедолевого бронха на 3 часа, левого – на 9–9:30; устье среднедолевого бронха – на 11:30; устье правого 6-го сегментарного бронха – на 5:30, левого – на 6–6:30. Правый главный бронх является как бы продолжением трахеи, тогда как положение левого главного бронха приближается к горизонтальному. Угол отхождения правого главного бронха (угол, образованный осями бронха и трахеи), по данным И.Г. Лагуновой (1946) [1], колеблется в пределах от 12° до 40° , а угол отхождения левого главного бронха – в пределах от 16° до 54° , причем в 25 % случаев И.Г. Лагунова обнаружила равенство углов отхождения правого и левого бронхов. Г.И. Лукомский и В.А. Спасская (1965) [2] находят большее различие между углами отхождения главных бронхов: 25 – 35° у правого и 45 – 75° у левого.

Как говорилось выше, трахея разветвляется на главные бронхи, которые делятся на крупные, средние и малые. Крупные бронхи имеют диаметр 1–1,5 см, средние – 0,2–0,5 см, малые – 0,1–0,2 см, бронхиолы – 0,05 см.

По мере уменьшения диаметра бронхов уменьшаются размеры хрящевых пластинок, вплоть до их полного исчезновения. Также происходит уменьшение количества желез в подслизистой основе, вплоть до их полного исчезновения.

В бронхах среднего калибра оболочки истончаются, уменьшается высота реснитчатого эпителия, уменьшается количество содержащихся в нем бокаловидных клеток, следовательно, вырабатывается меньше слизи. Происходит также относительное увеличение толщины мышечной пластинки слизистой. В подслизистой основе уменьшается количество желез. В волокнисто-хрящевой оболочке хрящевые пластинки превращаются в мелкие хрящевые островки. В них гиалиновый хрящ заменяется эластическим. Наружная оболочка адвентициальная, содержит крупные кровеносные сосуды (разветвления бронхиальных ветвей).

Стенка малых (мелких) бронхов состоит из двух оболочек, поскольку хрящевые островки полностью исчезают и железы в подслизистой основе также исчезают, т.е. остается внутренняя слизистая оболочка и наружная – адвентициальная.

Стенка малых (мелких) бронхов состоит из двух оболочек, поскольку хрящевые островки полностью исчезают и железы в подслизистой основе также исчезают, т.е. остается внутренняя слизистая оболочка и наружная – адвентициальная.

Частицы сварочных аэрозолей, оседающие в легочной системе сварщика, оказывают негативное воздействие на его здоровье. Статистика показывает, что более половины профессиональных заболеваний сварщиков – это заболевания органов дыхания и различные патологии, связанные с вдыханием сварочного аэрозоля. Наиболее частыми профессиональными заболеваниями сварщиков являются пылевой бронхит, пневмокониоз, бронхиальная астма, профессиональная экзема, нейротоксикоз (интоксикация марганцем).

Для того чтобы понять природу этой патологии, нужно знать не только суть побочных процессов во время сварки, но и иметь представление о крайних условиях для численного моделирования потока и жидкости дыхательной системы человека. Эти сведения помогут оценить вероятность оседания мелкодисперсных частиц в легких человека, поскольку, только обладая полным спектром информации о дыхательной системе человека, можно разработать комплексную защиту органов дыхания сварщика. Благодаря такому комплексному подходу люди такой опасной и важной профессии смогут прожить долгую и здоровую жизнь.

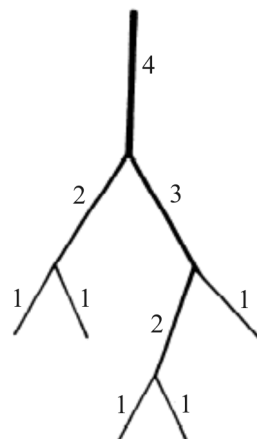


Рис. 2. Структура бронхиального дерева, где 1–4 – порядки [3]

Список литературы

1. Лагунова И.Г. Трахео-бронхиальное дерево человека в период его роста (анатомио-рентгенологическое исследование) // Нарушения бронхиальной проходимости. – М., 1946. – С. 210.
2. Лукомский Г.И., Спасская В.А. Атлас бронхоскопии. – М.: Медучпособие, 1965. – 90 с.
3. Horsfield K., Kemp W., Phillips S. An asymmetrical model of the airways of the dog lung / The Midhurst Medical Research Institute. – Midhurst, West Sussex, England, 1982.

Получено 10.04.2017

Чудинова Яна Николаевна – аспирант кафедры «Сварочное производство и технология конструкционного материала», механико-технологический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: chudoyana97@gmail.com.

Игнатов Михаил Николаевич – профессор кафедры «Сварочное производство и технология конструкционного материала», механико-технологический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: iampstu@gmail.com.

Игнатова Анна Михайловна – ведущий научный сотрудник ПКЦОТ, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: iampstu@gmail.com.

Смолина Анна Сергеевна – магистрант кафедры «Сварочное производство и технология конструкционного материала», механико-технологический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: A2n7n@yandex.ru.

Раков Юрий Владимирович – магистрант кафедры «Сварочное производство и технология конструкционного материала», механико-технологический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: Rakov-YV@mail.ru.